

Article, Published Version

Zweck, Heinz; Davidenkoff, Rostislav

Untersuchung von Sicherungsmaßnahmen an Flußdeichen durch Modellversuche

Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103180>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Zweck, Heinz; Davidenkoff, Rostislav (1956): Untersuchung von Sicherungsmaßnahmen an Flußdeichen durch Modellversuche. In: Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau 7. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 8-16.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Untersuchungen von Sicherungsmaßnahmen
an Flußdeichen durch Modellversuche.

Von Oberregierungsbaurat Dr.-Ing. H. Zweck und
Dr. R. Davidenkoff

Ein Deich auf durchlässigem Untergrund kann gefährdet werden, wenn das durch den Dammkörper sickernde Grundwasser aus der landseitigen Böschung austritt und dadurch ihre Standsicherheit herabsetzt oder das durch den Untergrund strömende Grundwasser hinter dem Deich nach oben steigt und hier die Bildung von einzelnen Quellen oder einen hydraulischen Grundbruch bewirkt. Diese Erscheinungen, vor allem die Quellbildung, sind bei Deichen am Oberrhein verschiedentlich eingetreten und gaben Veranlassung, Sicherungsmaßnahmen gegen diese Schäden zu treffen.

Die genannten Rheindämme, die aus Auelehm geschüttet sind, stehen in der Regel auf einer etwa 1 m mächtigen Auelehmschicht, darunter folgen Feinsande von etwa 2,50 m Mächtigkeit, die von groben Sanden und Kiesen unterlagert sind. Das Grundwasser in den durchlässigen Schichten steht in direkter Verbindung mit dem Rheinwasser; es strömt bei Niedrigwasser zum Rhein und bei Hochwasser in umgekehrter Richtung landeinwärts.

Bei den letzten Hochwassern im Januar 1955, aber auch in früheren Zeiten, sind an verschiedenen Stellen hinter diesen Rhein-
deichen die oben erwähnten quellenartigen Aufbrüche entstanden, bei denen der Feinsand aus dem Untergrund mit hochgespült wurde, Durch diesen Bodenentzug traten sogar stellenweise Sackungen der hinteren Deichböschung auf. Als sofortige Gegenmaßnahme wurden Sandsäcke und Steine auf die gefährdeten Stellen geworfen, um so eine Ausbreitung dieser Aufbrüche zu verhindern. An einigen Stellen wurde auch beobachtet, daß sich die Graßnarbe durch hydraulischen Druck aufblähte, ohne daß es hier zu Aufbrüchen kam. Vereinzelt ist auch infolge Durchsickerung des Wassers durch den Deichkörper die hintere Böschung teilweise aufgeweicht worden, wodurch hier Abbrüche entstanden.

Um solchen Schäden vorzubeugen, sind teilweise Spundwände gerammt, teilweise Verstärkungen des Deiches mit bindigem Material vorgenommen worden. Zur Klärung der Frage, ob diese bereits vorgenom-

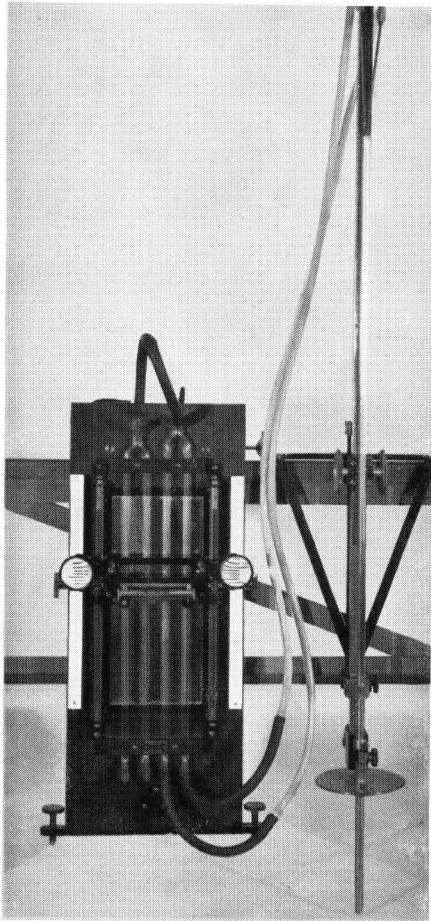


Abb. 7.
Anordnung des Meßgerätes

GEHRIG
Strömungsrichtungsmessung

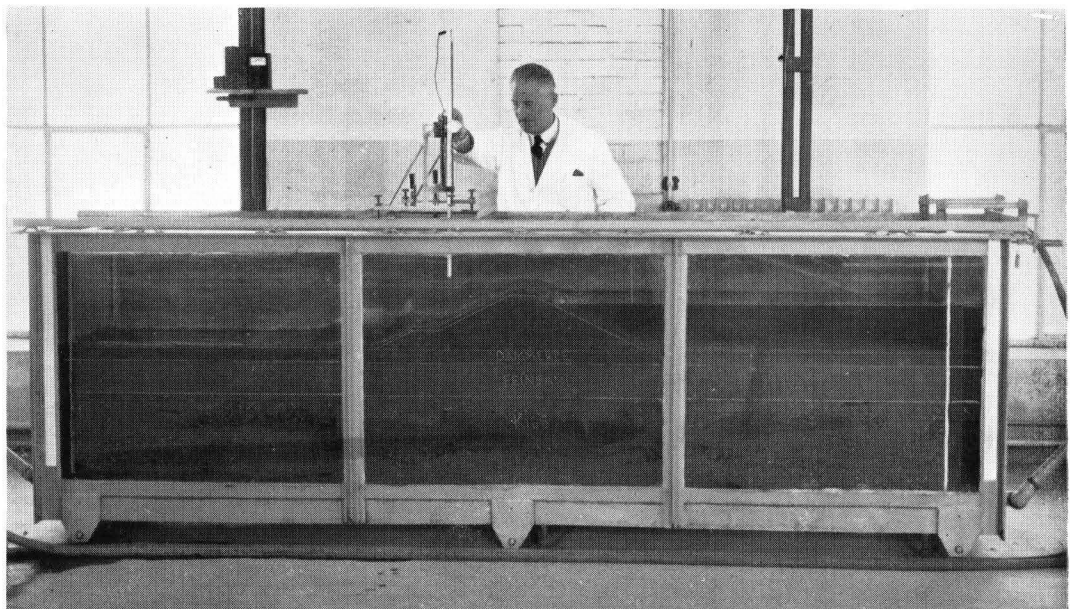


Abb. 1. Versuchskasten mit dem eingebauten Rheindamm-Modell

ZWECK
DAVIDENKOFF
Sicherungsmaßnahmen an Flußdeichen

menen Sicherungsmaßnahmen zweckmässig sind oder welche anderen bei den gegebenen Verhältnissen gewählt werden müssen, beauftragte das Wasser- und Schiffsamtsamt Speyer auf Initiative von Baurat GEISER die Bundesanstalt für Wasserbau, Abteilung Erd- und Grundbau, entsprechende Modellversuche durchzuführen. Wenn diese inzwischen abgeschlossenen Versuche auch für einen bestimmten Fall abgestellt waren, so lassen sie doch einige allgemein interessante Schlüsse für die Sicherung von Deichen zu.

Versuchsaufbau.

Die Versuche wurden in einem mit einer vorderen Glasplatte versehenen Stahlkasten mit den Abmessungen 3,6 x 1,0 x 0,5 m, wie er in Abbildung 1 dargestellt ist, durchgeführt. An der hinteren Stahlwand waren in 3 übereinanderliegenden Reihen insgesamt 36 und am Boden des Kastens 12 Anschlußstellen für Piezometer vorgesehen, damit der an diesen Stellen herrschende Wasserdruck während des Versuchs gemessen werden konnte. In den Abbildungen 2 und 3 sind diese Anschlußstellen eingezeichnet.

Das Modell wurde in einem Maßstab 1:20 mit den natürlichen Böden nachgebildet. Die untere Kiesschicht steht, wie es auch in der Natur der Fall ist, in direkter Verbindung mit dem Rhein. Es wurde angenommen, daß das Flußufer in etwa 20 m Entfernung von Deichmitte liegt. Auf der Landseite wurde in einer Entfernung von 23 m von Deichmitte ein konstanter Grundwasserspiegel in Geländehöhe für die Versuchsdurchführung festgelegt. Diese beiden Randbedingungen wurden durch den Einbau von senkrechten Drahtnetzen im Ober- und Unterwasser des Modells, die ein freies Ein- und Ausströmen des Wassers gestatten, erreicht (vgl. Abb. 2 u. 3).

Wir weisen darauf hin, dass die Ergebnisse der Versuche nur für die getroffenen Abstände des Ober- und Unterwassers im Modell gelten, da die für die Klärung der Fragen maßgebenden Standrohrspiegel in der Feinsandschicht von diesem Abstand abhängen. Beim Vergleich der weiter unten beschriebenen Sicherungsmaßnahmen spielt dieser Umstand aber keine Rolle.

Der Deich selbst hat eine Höhe von 4 m, eine Kronenbreite von 2 m und eine Böschung 1:2 mit einer 2 m breiten Berme an der Landseite. Der im Modell gewählte Bodenaufbau ist für die im Bereich des Wasser- und Schiffsamtsamtes Speyer vorliegenden Untergrundverhältnisse charakteristisch. In den Abbildungen 2 bis 4 sind die

vor erwähnten Schichten dargestellt. Für die einzelnen Bodenarten wurden die folgenden bodenphysikalischen Kennziffern ermittelt:

| Bodenart | Benennung nach Kornverteilung | Durchlässigkeit cm/sec |
|------------|----------------------------------|---------------------------|
| 1 Auelehm | toniger und feinsandiger Schluff | $1 \cdot 10^{-7}$ |
| 2 Feinsand | Mittel- und Feinsand | $5 \cdot 10^{-3}$ |
| 3 Kies | Mittel- und Grobsand und Kies | $4 \cdot 10^{-2}$ |

Bei den Grundwasserströmungsversuchen erhält man bei geometrischer Ähnlichkeit im Modell ein der Natur ähnliches Strömungsnetz. Dieses gibt uns in jedem Punkt die für die vorliegenden Versuche erforderliche Standrohrspiegelhöhe im Modellmaßstab an. Werden bei den Versuchen, wie dies hier der Fall war, dieselben Bodenarten wie in der Natur verwendet, so bekommt man im Modell ausserdem dieselben Filtergeschwindigkeiten wie in der Natur. Die Wassermengen sind hierbei für eine Einheitsbreite n mal so klein wie in der Natur, wenn $1:n$ der Modellmaßstab ist.

Verschiedentlich ist die Frage gestellt worden, ob die Korngrössen des natürlichen Bodens im Modellmaßstab nicht verkleinert werden müssten. Diese Verkleinerung ist nicht notwendig, da nach der Laplaceschen Gleichung, die die Vorgänge in laminaren Grundwasserströmungen erfasst, das Strömungsnetz und damit auch die Standrohrspiegelhöhen bei homogenen Böden in einem der Natur geometrisch ähnlichen Modell unabhängig von den Eigenschaften des Bodens und damit seiner Korngrösse sind. Besteht der Boden aus verschiedenen Schichten, so muss das Verhältnis der Durchlässigkeiten dieser Schichten dasselbe sein wie in der Natur, damit ein ähnliches Strömungsnetz entsteht. Diese Forderung ist bei Verwendung der natürlichen Böden im Modell von selbst erfüllt.

Versuchsdurchführung.

Im allgemeinen wurden bei jedem Versuch die Standrohrspiegel in den Piezometern abgelesen und die Wasserstände in verschiedenen im Deichkörper eingebauten kleineren Brunnen gemessen. Die Höhe

dieser Wasserspiegel konnte mit einem Spitzentaster, wie er in Abbildung 1 zu erkennen ist, genau bestimmt werden. Im Augenblick der Berührung der Nadel mit dem Wasserspiegel wurde ein elektrischer Stromkreis geschlossen, wobei ein in diesen Kreis eingeschaltetes Amperemeter ausschlug.

Weiterhin wurde jeweils die durch das Modell fliessende Wassermenge gemessen und bei einigen Versuchen ausserdem einige Stromlinien der Grundwasserströmung durch Farbflüssigkeit sichtbar gemacht.

Bei den Versuchen zur Ermittlung der Wirkung von Deckschichten hinter dem Deich wurde zur Erzeugung der beobachteten quellenartigen Aufbrüche die in der Natur vorhandene Wasserader durch dünne Glasröhrchen nachgebildet, die mit dem Oberwasser in Verbindung standen.

In den Versuchen wurden die folgenden Sicherungsmaßnahmen gegen eine schädliche Wirkung der Grundwasserströmung bei Austritt aus dem Deichkörper und aus dem Gelände hinter dem Deich untersucht:

- 1) Eine hintere und in der Mitte des Deiches angeordnete Spundwand, die durch den Lehm und die Feinsandschicht bis Oberkante Kies geführt war, wie sie teilweise angewendet wurde. Es wurde vermutet, daß eine solche kurze Spundwand bei den gegebenen Grundwasserverhältnissen die Grundbruchgefahr hinter dem Deich nicht verringert.
- 2) Eine Belastung des Geländes hinter dem Deich durch bindigen Boden, also durch eine Verstärkung des Deiches.
- 3) Eine Belastung des Geländes hinter dem Deich durch Sand und Kies, also durch Aufbringen einer belastenden Filterschicht.

Ergebnisse.

Zur Beurteilung der Grundbruchgefahr hinter dem Deich wurden die in der Feinsandschicht ermittelten Standrohrspiegelhöhen herangezogen. Sie geben, da sie nicht weit von der darüberstehenden Lehmschicht entfernt sind, angenähert den Druck auf diese Schicht und lassen die Grösse der zur Verhütung etwaiger Aufbrüche erforderlichen Deckschicht abschätzen. Diese Deckschicht muss nicht nur durch ihr Gewicht einen hydraulischen Grundbruch verhindern, sondern auch die durch Wasseradern verursachten quellenartigen Aufbrüche unschädlich machen. Die gemessenen Sickerlinien im Deich lassen wiederum eine Beurteilung zu, ob eine Gefährdung durch das aus der Böschung austretende Wasser gegeben ist.

In der Abbildung 2 sind die Standrohrspiegelgefälle in der Feinsandschicht für eine hinter und in der Mitte des Deiches angeordnete Spundwand gezeichnet. Gleichzeitig sind die Standrohrspiegel für Deiche ohne jede Spundwand eingetragen. Man sieht, dass die drei Linien, die die Standrohrspiegelhöhen verbinden, nur sehr wenig voneinander abweichen. Das bedeutet, daß der Druck des Grundwassers gegen die obere Lehmschicht und damit die Gefahr eines hydraulischen Grundbruches durch die Spundwand in der vorgesehenen Länge bei den örtlichen Gegebenheiten nur unwesentlich vermindert wird. Eine sehr viel tiefer reichende Spundwand würde zwar diese Sicherheit erhöhen, doch würde ihr Einbau bei der sehr tiefliegenden Kiesschicht eine wirtschaftlich untragbare Lösung darstellen.

In der Abbildung 3 sind die Sickerlinien wiederum für eine hintere und eine in der Mitte angeordnete Spundwand eingetragen. Man erkennt, daß die hintere Spundwand kein Absenken, vielmehr eine, wenn auch ganz geringe, Hebung der Sickerlinie bewirkt. Die in der Deichmitte angeordnete Spundwand verursacht bei den gegebenen Grundwasserströmungsverhältnissen eine beträchtliche Senkung der Sickerlinie hinter der Spundwand und damit eine Verringerung der Gefährdung der Standsicherheit der hinteren Böschung durch Wasseraustritt.

Bei den Versuchen mit Belastung des Geländes hinter dem Deich wurden die in der Abbildung 4 gezeichneten Querschnitte untersucht, wobei, wie schon erwähnt, (siehe Versuchsdurchführung) in den Versuchen künstliche Wasserquellen mit Sandausspülung geschaffen wurden, die, wenn auch nur qualitativ, den in der Natur aufgetretenen Erscheinungen ähnlich waren. Die Belastung bestand, wie gesagt, einmal aus Auelehm, das andere Mal aus Sand. Die ohne Belastungsschicht im Modell auftretenden Aufbrüche wurden durch die Abdeckung mit Lehm zunächst ausgeschaltet. Das Wasser suchte aber andere Wege und trat nach einiger Zeit an verschiedenen Stellen, wenn auch nicht so ergiebig, an der Oberfläche der Deckschicht wieder aus. Die Sickerlinie im Damm wurde, wie es auch zu erwarten war, etwas gehoben.

Eine Deckschicht aus Sand und Kies braucht die an der Oberfläche austretende Wassermenge nur soweit herabzusetzen, daß keine Bodenteilchen mitgespült werden. Durch eine solche Deckschicht wird erreicht, daß das Wasser keine neuen Wege wie im vorigen Fall sucht, sondern aus denselben Quellen nur mit etwas verminderter Geschwindigkeit ohne Sandausspülung austritt. Im Versuch wurde das mit einer

Deckschicht aus Sand derselben Dicke wie die der Lehmschicht (siehe Abbildung 4) erreicht. Die Sickerlinie im Damm behielt jetzt ihre alte Lage bei.

Wenn diese letzteren Versuchsreihen mit den Deckschichten auch nur qualitative Ergebnisse geben konnten, so zeigten sie doch, daß die Deckschicht aus durchlässigem Material, wenn sie als Filterschicht aufgebaut ist, sowohl für den Grundbruch und für die quellenartigen Aufbrüche als auch für die Lage der Sickerlinie im Damm günstig ist. Diese Filter geben damit auch die Möglichkeit, im Bereich des Wasser- und Schiffsamtes Speyer beim Bau auf vorhandenen Sand und Kies statt auf den nicht immer zur Verfügung stehenden Lehm zurückzugreifen. Der zu wählende Aufbau der Filterschicht unter Berücksichtigung von verschiedenen Arten des Grundbruches und von verschiedenen Strömungsbedingungen ist durch Versuche festzustellen. Solche Versuche laufen z.Zt. in der Abteilung Erd- und Grundbau.

Schlußfolgerungen.

Auf Grund der geschilderten Versuchsergebnisse konnten bei den vorliegenden Verhältnissen u.a. die folgenden Empfehlungen gegeben werden. Ist der Deich undicht, empfiehlt sich der Einbau einer Spundwand in der Mitte des Deiches. Sie ist möglichst tief zu rammen. Ist der Deich dagegen dicht und besteht die Gefahr von Grundbrüchen hinter dem Deich, so ist die Belastung durch eine Filterschicht bei allen erwähnten Grundbrucherscheinungen zweckmässig. Nach den vorliegenden Versuchsergebnissen, deren wesentlichste hier geschildert wurden, konnten die Sicherungsmaßnahmen für die Deiche im Bereich des Wasser- und Schiffsamtes Speyer geplant werden, die gegenüber früheren Entwürfen wesentliche technische und wirtschaftliche Vorteile brachten.

Literatur:

Z w e c k u n d D a v i d e n k o f f : Die versuchstechnischen Verfahren zur Berechnung des Strömungsnetzes von Grundwasserströmungen
(Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau (1955),
Heft 5, Seite 59 bis 65.)

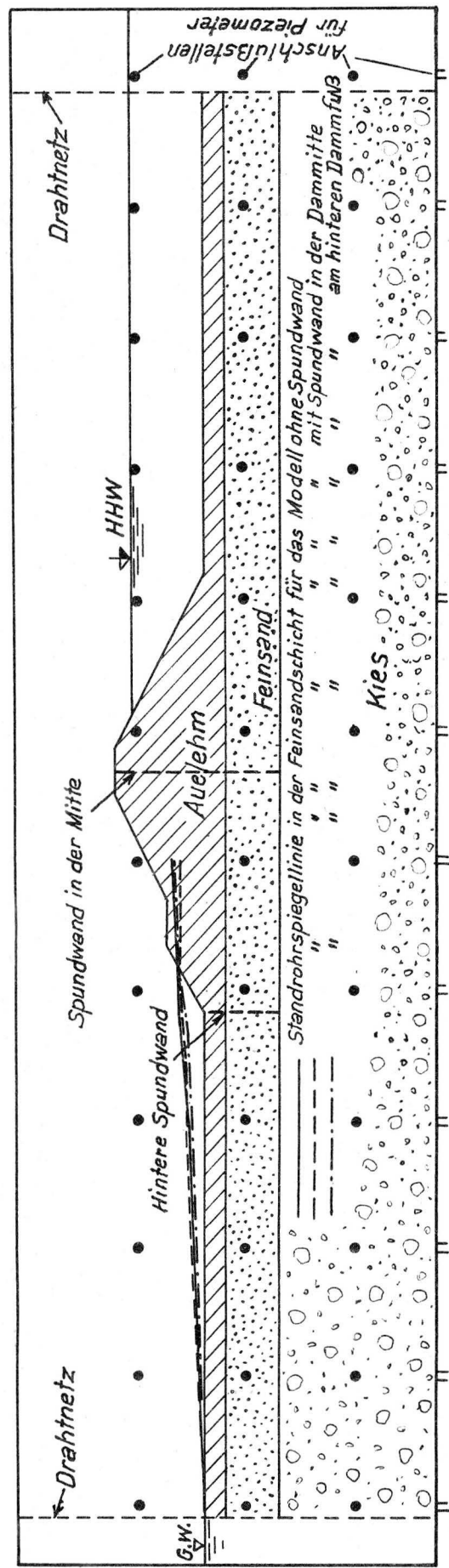


Abb. 2 Standrohrspiegelhöhen in der Feinsandschicht hinter dem Damm.

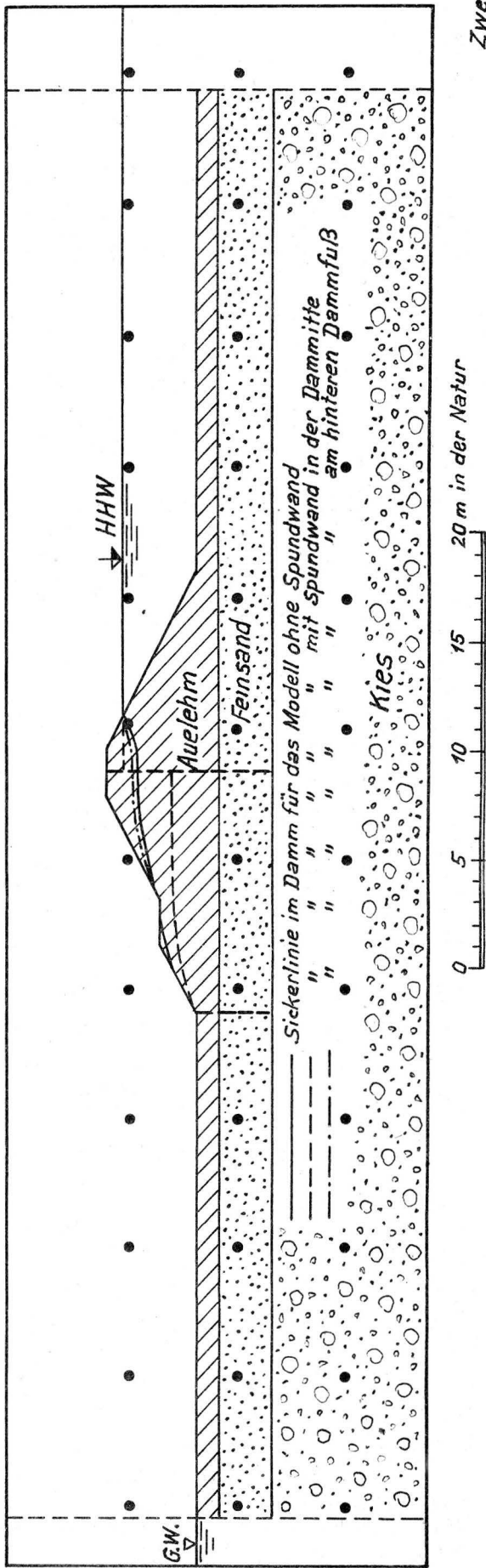
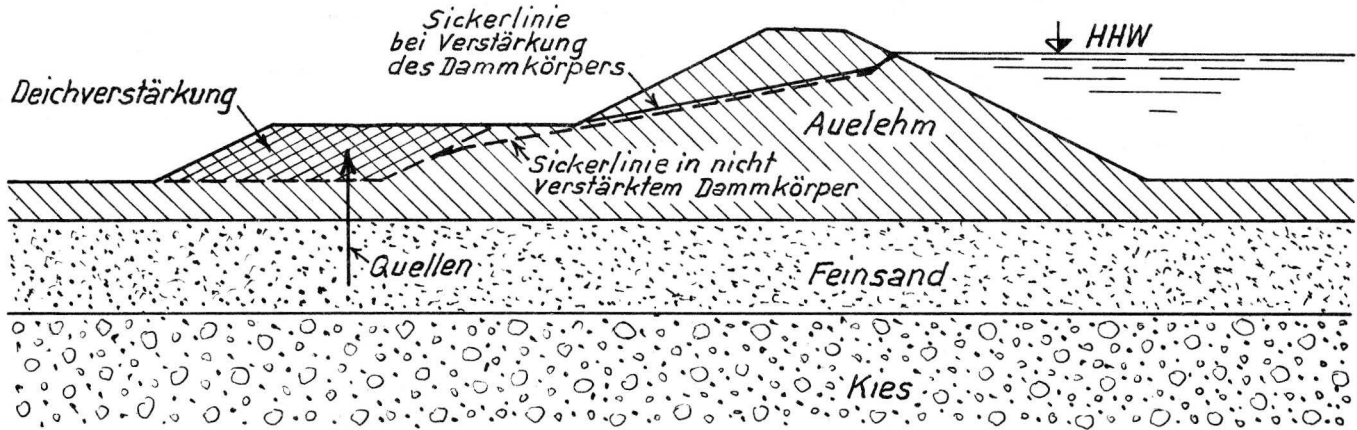
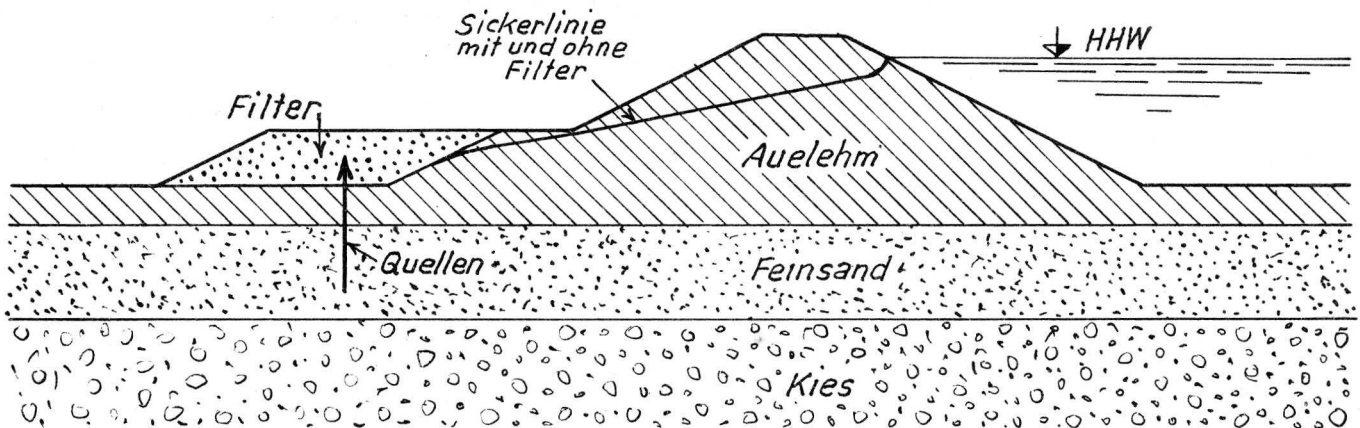


Abb. 3 Sickerlinien

Zweck
Davidenkoff
Sicherungsmaßnahmen
an Flußdeichen



Verstärkung des Deiches



Aufbringen einer Filterschicht

Maßstab = 1 : 200

Abb. 4 Belastung des Geländes hinter dem Deich.